実設計に即した車載LAN

FlexRay 仕様解説

第4回 ウェイクアップとスタートアップ

システムの記事

佐藤道夫

ここでは，クラスタ（FlexRayネットワークにつながった複数のノードの集まり）がスリープ状態（パワーOFF）からどのようにして通常の通信状態に遷移するのかを説明する．FlexRayの仕様では，パワーONした後，待機状態（ウェイクアップ），通信準備状態（スタートアップ）の順番でクラスタがスリープから復帰するように定められている．この一連のプロセスはすべてホスト・マイコンによって制御される．（編集部）

今回は，FlexRayネットワーク上のあるノードがパワーONした後，そのノードを含めたクラスタがどのようにしてノーマル状態に遷移し，通常の通信を行えるようになるのかを見ていきます．

1 ウェイクアップ

FlexRayの場合，通信準備（スタートアップ）を行う前に，まずクラスタをウェイクアップ[注1]するために，次のような手順をとります．

1）ノードがパワーOFFからパワーONに遷移

2）通信コントローラの内部状態遷移制御（POC：Protocol Operation Control）に従って，コントローラそのもののコンフィグレーション（初期設定）とホスト（マイコン）によるコンフィグレーションを行う（図1）

3）コンフィグレーション終了後，レディ状態[注2]に遷移

4）その後，ホストからウェイクアップ信号を受け取るとウェイクアップ状態[注3]に入る

2）～4）の状態遷移は，すべてCHI（controller host interface）を介して，ホストからのコマンドによって行われます．つまり，通信コントローラがPOCを操作することはありません．

● 二つのチャネルが同時にウェイクアップしてはならない

さて，クラスタをウェイクアップするには，最低限の必

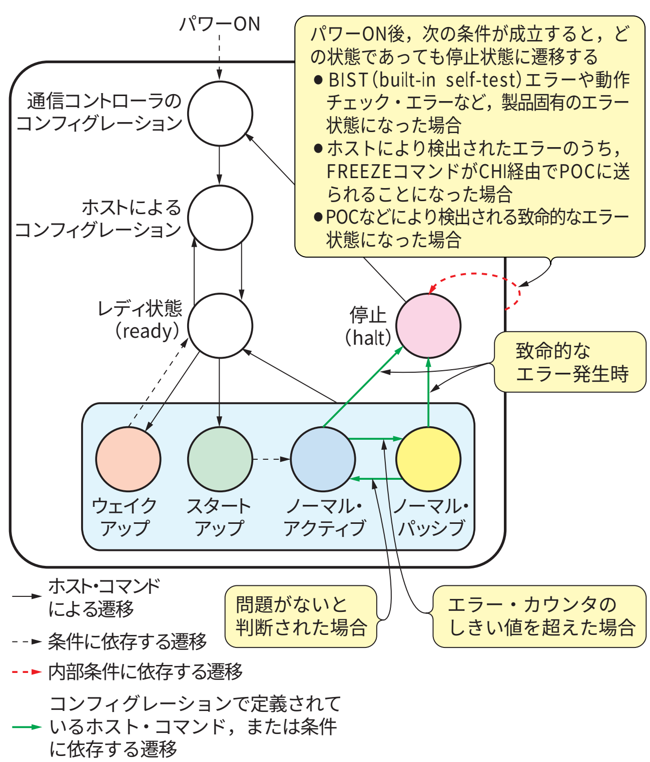


図1 通信コントローラの内部状態遷移

通信コントローラのPOCに従って，コンフィグレーションやウェイクアップ，スタートアップを行う．

注1：ウェイクアップとは，あるノードがスリープ状態から復帰したということをクラスタに知らせるため，ノード内の通信コントローラがチャネルにウェイクアップ信号を送信すること．スタートアップはウェイクアップしている複数のノードが正常に通信するために同期や整合をとること．

注2：レディ状態は，すべての初期設定が終わった後，ウェイクアップまたはスタートアップに入ることができる状態を指す．ノードがパワーONした後，通常通信に入るまでに，かならずこの状態を通る．

注3：ウェイクアップ状態に入らず，レディ状態から直接スタートアップ状態に遷移することも可能だが，これはシステム設計者の考えかたによる．

要条件を満たす必要があります(図2)．まず，すべてのノードのレシーバ(物理層レベルのバス・ドライバICに内蔵されている)に電源が供給されなくてはなりません．レシーバに電源が供給され，バス(チャネル)を介してウェイクアップ信号が入ってくると，そのノード内のほかの部品もスリープから復帰します．なお，クラスタ全体がウェイクアップするには，複数あるノードのうち少なくとも一つは外部(例えば外部スイッチなど)からの信号によってウェイクアップする必要があります．

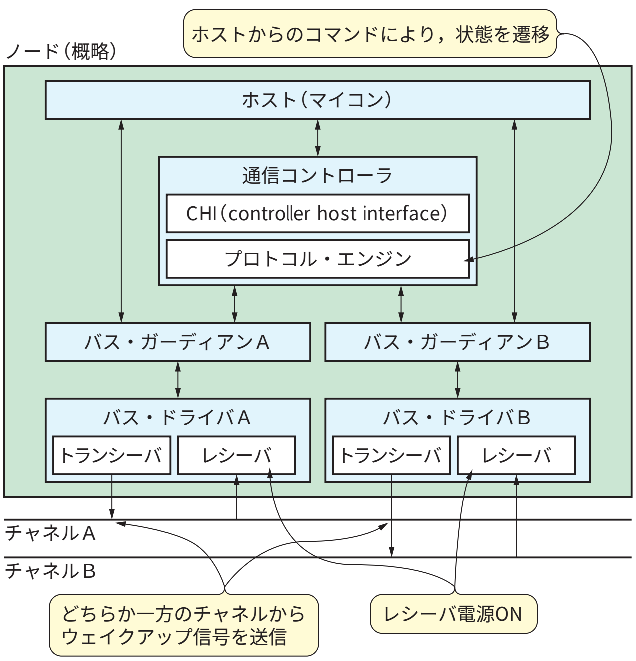


図2　ウェイクアップの条件

クラスタをウェイクアップするには，レシーバに電源が供給されている，複数あるノードのうちの少なくとも一つは外部からの信号によってウェイクアップする必要があるなど，最低限の必要条件を満たさなければならない．

ここで，デュアルチャネル(AチャネルとBチャネルを備えた)ノードのウェイクアップの例を図3に示します．この例では，クラスタは三つのノードで構成されています．

FlexRayでは，デュアルチャネル・ノードのウェイクアップを行う場合，仕様の中で以下のことを規定しています．

- **ウェイクアップ信号をチャネルA，Bの両方に同時に送信してはならない**
- **一つのノードがチャネルA，Bの両方をウェイクアップしてはならない**

かりに，チャネルAとチャネルBの両方に同時にウェイクアップ信号を送信できたとします．この場合，もし欠陥のあるノードが異常なウェイクアップ信号を送信したら，両方のチャネルが同時に通信障害に陥ることになります．これを防ぐために，上記のルールが定められています．

● ウェイクアップにはホストによる適切な制御が必要

図3の例では，ノードAがチャネルAのコールドスタート・ノード，ノードBがチャネルBのコールドスタート・ノードになっています．ここでコールドスタート・ノードとは，前述の「外部信号によるウェイクアップを必要とするノード」を指します．クラスタの通信スタートアップ手順を初期化することのできるノードです．

例えば，ノードAはパワーOFFまたはリセットした後に発生したローカルなイベント(そのノードが備える外部

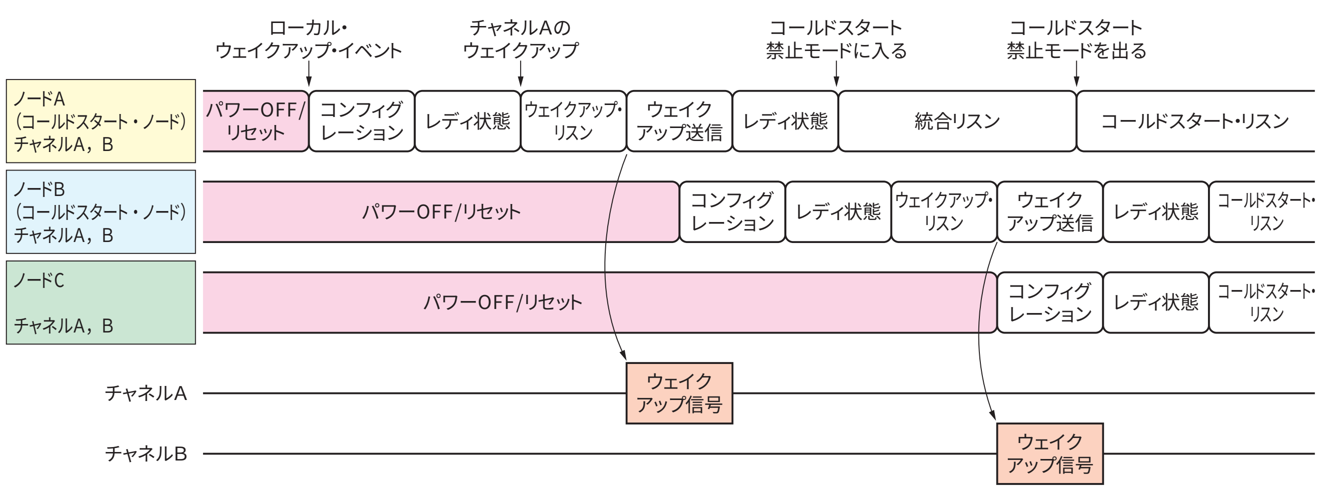


図3　二つのチャネルのウェイクアップ方法

ノードA，Bはコールドスタート・ノードとする．ノードAがウェイクアップを完了しても，ノードBのウェイクアップが完了するまでスタートアップの開始を遅らせるようにしている．

スイッチからの信号，ホストからの信号など）の発生により，ウェイクアップのためのプロセス（POC）に移行します（図4）．このとき，通信コントローラの内部状態は，コンフィグレーション，レディと遷移して，最終的にチャネルAをウェイクアップするための状態に入ります．コンフィグレーション状態では，ホストはノードがウェイクアップ信号を送信するためのチャネルをパラメータpWakeupChannelによって設定します．その後，レディ状態になると，pWakeupChannelで設定したチャネル上にウェイクアップ信号を送信するように，ホストが通信コントローラにコマンドを出します．

通信コントローラがレディ状態に入った後，ウェイクアップ信号を送信する前にウェイクアップ・リスン（状況監視状態）に入ります．この状態で，もしほかのノードによるスタートアップが進行していれば，このノードはウェイクアップ信号を送信しません．逆に，ほかのノードによるウェイクアップがなければ，ウェイクアップ信号の送信を開始します．こうしてチャネルAのウェイクアップが完了し，コールドスタート・プロセス（詳細は後述）に移行します．

ノードAの通信コントローラから送信されたウェイクアップ信号は，その後，クラスタに接続されているすべてのノード（ノードAを含む）のバス・ドライバ（チャネルA側）によって受信されます．バス・ドライバがウェイクアップ信号を受信したかどうかをチェックするのはホストのしごとです．ウェイクアップ状態の間，ホストはバス・ドライバやバス・ガーディアン（エラー処理専用のハードウェア），通信コントローラの調整を行わなければなりません．つまり，ウェイクアップのプロセスを適切に行うにはホストの動作が重要になります．

ホストは二つのチャネルについて，どちらのチャネルをウェイクアップするかを決めなければなりません．図3の例では，チャネルAに接続しているノードAのホストは，最初にバス・ドライバがウェイクアップ信号を受信していないこと[注4]を確認します．また，進行中のスタートアップや通信がないことを確認できたので，ノードAのウェイクアップを開始したのです．

2 スタートアップ

ウェイクアップが完了すると，スタートアップに移行します．クラスタ通信をスタートアップするには，最低二つのノードが必要ですが，クラスタに接続されているすべてのノードが同じタイミングでウェイクアップを完了するわけではない，ということに注意が必要です．

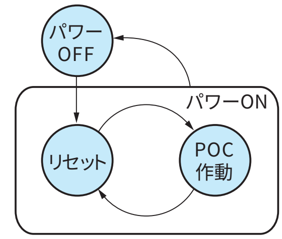


図4
通信コントローラの電力モード
パワーOFFまたはリセットした後に発生したローカルなイベントの発生によって，あるノードがウェイクアップ・プロセス（POC）に移行するようすを示す．

図3の例では，ノードAのウェイクアップが完了したとき，ノードBはまだウェイクアップを完了していません．そこで，ノードAは「コールドスタート禁止フラグ」を立て，ノードBのウェイクアップが完了するまでスタートアップの開始を遅らせるようにします．ノードBはチャネルAの場合と同じ手順でチャネルBのウェイクアップを行います．ウェイクアップが完了すると，ノードBがそれを知らせる信号（シンボル）を送信し，ノードAのコールドスタート禁止フラグがホストによってクリアされます．コールドスタート禁止フラグを立ててからクリアするまでの時間は，短すぎると衝突を起こし，長すぎると通信の効率が落ちるため，効果的に設定することが大事です[注5]．このフラグの設定は，システム設計者が行います．

コールドスタート禁止フラグがクリアされると，スタートアップに移行し，そこでクラスタに参加している全ノードの同期と整合をとります．

● プロセス開始は限られたノードによって行われる

スタートアップのプロセスを開始することを「コールドスタート」と言います．コールドスタートは「コールドスタート・ノード」と呼ばれる限られたノードによって行われます．

コールドスタートは，クラスタに接続されたコールドスタート・ノードの一つからCAS（collision avoidance symbol）という信号が送信されることで始まります．次に，そのノードは4サイクルでフレームを送信します．その後，ほかのコールドスタート・ノードが加わります．それから残るすべてのノードが加わり，通常の通信が開始されます．

注4：「バス・ドライバがウェイクアップ信号を受信している」ということは，ウェイクアップのプロセスが終わっているということで，スタートアップに移行する．
注5：そのためには，システム（クラスタ）がどのように運営されているかをシステム設計者がすべて把握しておく必要がある．

コールドスタート・ノードは，キー・スロット注6がスタートアップ・フレームの送信に使用されているかどうかを示すフラグ(pKeySlotUsedForStartup)を備えています．このフラグの状態は，フレーム・ヘッダのスタートアップ・フレーム・インジケータに反映されます(**図5**)．すなわち，pKeySlotUsedForStartup＝1(真)であれば，スタート・アップ・インジケータも‘1’にセットされ，そのフレームがスタートアップ・フレームであることを示します(フレーム・フォーマットの詳細については，2005年6月号，pp.100-107の本連載第2回を参照)．

一つのクラスタにおいて，いくつのノードをコールドスタート・ノードに割り当てるか決めなければなりません．クラスタ内のいくつのノードをコールドスタート・ノードとするかはパラメータgColdStartAttempts(設定値＝2～31)で設定します．例えば，**図3**ではノードAとノードBの二つをコールドスタート・ノードとしましたが，このときはgColdStartAttempts＝2と設定します．

クラスタを積極的にスタートさせるコールドスタート・ノードを「リーディング・コールドスタート・ノード」と呼びます．また，ほかのコールドスタート・ノードに統合されるノードを「フォローイング・コールドスタート・ノード」と呼びます．

● 複数ノードが通信を開始するまでのプロセス

スタートアップにおける各ノードの動きを，**図6**を用いて説明します．この例では，クラスタはA，B，Cの三つのノードで構成されています．例として，ここではパラメータgColdStartAttempts＝2と設定し，コールドスタート・ノードとして二つのノードを割り当てます．二つのノードのうちの一方は，リーディング・コールドスタート・ノードとしてノードAを割り当てます．ノードBはフォローイング・コールドスタート・ノードとして割り当てます．ま

注6：スタートアップ・フレーム・インジケータが‘1’になっているフレームを送信するスロットのこと．

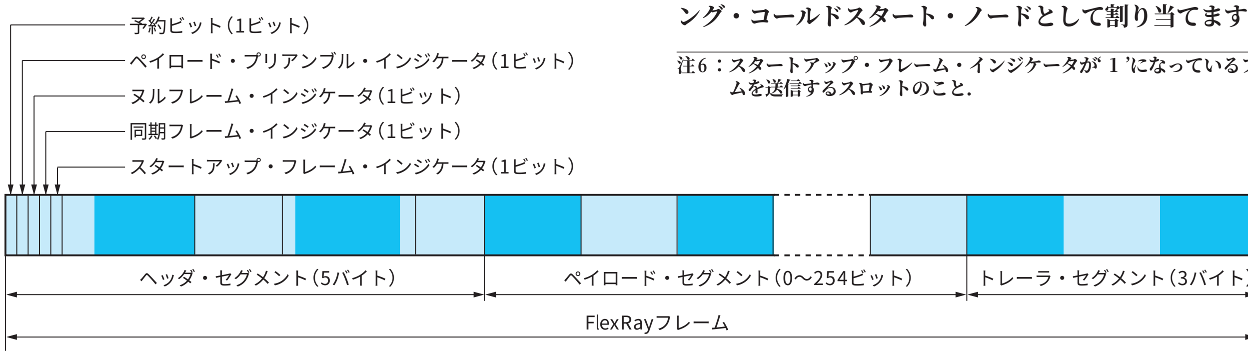
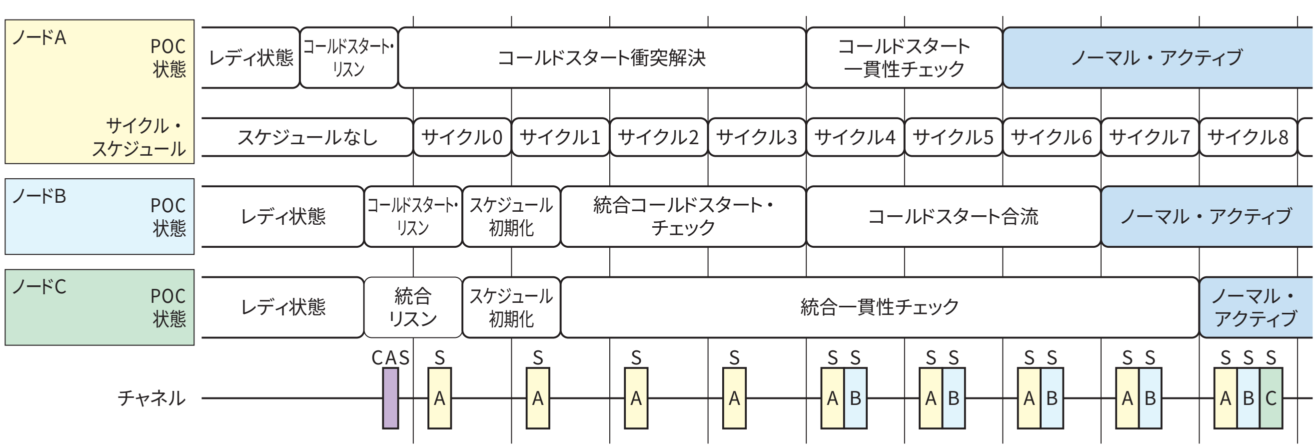


図5　フレーム・フォーマット
コールドスタート・ノードは，キー・スロットがスタートアップ・フレームの送信に使用されているかどうかを示すフラグ(pKeySlotUsedForStartup)を備えている．このフラグの状態は，フレーム・ヘッダのスタートアップ・フレーム・インジケータに反映される．



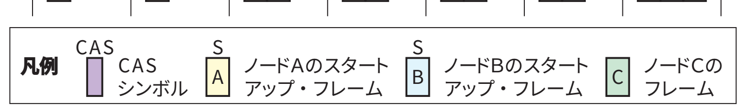


図6　スタートアップにおける状態の遷移例
FlexRayフレームが受信されなければ，ノードAはコールドスタートを開始する．はじめにCASシンボルを送信し，引き続き最初のコミュニケーション・サイクルに入る．

た，ノードCはコールドスタート・ノードではありません．

ノードAはスタートアップに入るとき，接続されているチャネルをリスンして，FlexRayフレーム（ヘッダやシンボル）を受信しようとします．

FlexRayフレームが受信されなければ，ノードAはコールドスタートを開始します．はじめにCASシンボルを送信し，引き続き最初のコミュニケーション・サイクルに入ります．このサイクルの番号を'0'とし，ここからノードAはスタートアップ・フレームの送信を開始します．

コールドスタート・ノードとして割り当てられているすべてのノードがコールドスタートを開始できるので，複数のノードが同時にCASを送信してコールドスタート・プロセスに入る可能性があります．こういった状況が発生した場合，最初にコールドスタートの試みを開始したノードがCASの後に続く4サイクルのフレーム送信の間にCASシンボルやフレーム・ヘッダを受信すると同時に，このノードは再度リスン状態に入り，衝突は回避されます．

4サイクル目でそのほかのコールドスタート・ノード（**図6**の場合はノードB）がスタートアップ・フレームの送信を開始します．ノードAは4サイクル目と5サイクル目からすべてのスタートアップ・フレームを集め，クロックの補正を行います．このクロック補正に何もエラーがなければ，ノードAは通常動作（ノーマル・アクティブ）状態に入ります．

ノードBがスタートアップに入るときもノードAの場合と同じく，接続されたチャネルをリスンしてFlexRayフレームを受信しようとします．それが受信されたとき，送信しているコールドスタート・ノード（ノードA）に統合（integration）しようとします．ここでいう統合とは，同期やスケジュールの初期化など，タイム・トリガ方式のネットワークによって通信するために必要な事がらを確認し，通信を行える状態になることを言います．ノードBはノードAからの有効なスタートアップ・フレームを受信し，スケジュールとクロック補正を導き出そうとします．

これらの受信がうまくいったとき，ノードBは同期フレームを集め，続く二つのサイクルでクロック補正を行います．クロック補正から何もエラーが出ず，かつノードBがノードAからフレームを受信し続ける場合，ノードBはスタートアップ・フレームの送信を開始します．

これに続く三つのサイクルでクロック補正にエラーがなく，かつ少なくとも一つの別のコールドスタート・ノードが認識された場合，このノードBはスタートアップを抜け出し，ノーマル・アクティブに入ります．つまり，ノードBはノードAよりも少なくとも1サイクル後でスタートアップを抜け出すことになります．

ノードCもノードAやノードBと同じようにスタートアップに入ります．接続チャネルにFlexRayフレームが受信されると，そのフレームを送信しているコールドスタート・ノードに統合しようとします．ノードCはコールドスタート・ノードからの有効なスタートアップ・フレームのペアを受信し，スケジュールとクロック補正を導き出そうとします．

それに続く2サイクルでは，ノードCのスケジュールに合うスタートアップ・フレームを送信する最低二つのコールドスタート・ノードを見つけようとします．もしこれに失敗したり，クロック補正にエラーが出た場合は，統合を中断し，はじめから再度試みます．

少なくとも二つのコールドスタート・ノードから有効なスタートアップ・フレームのペアを連続した2サイクルで受信した後，ノードCはスタートアップを抜け出し，オペレーションに入ります．

これにより，ノードCはコールドスタートを開始したノードの少なくとも2サイクル後にスタートアップを抜け出すことになります．つまり，クラスタに接続されたすべてのノードは7サイクル目の終わり，8サイクル目に入る直前にスタートアップを抜け出せることを意味しています．これによって，FlexRayの通信が開始されます．

次回は，今回のスタートアップでも述べた，クロック補正に関係したクロック同期についてお話しします．

参考・引用*文献

(1) FlexRay Communication System Protocol Specification Version 2.1，2005.

さとう・みちお
フリースケール セミコンダクター ジャパン（株）

<筆者プロフィール>
佐藤道夫．1982年にモトローラに入社し，半導体事業部に所属．品質保証や営業を経験し，1992年からコントロール＆ネットワークのアプリケーション・エンジニアとして，ロンワークスの普及に従事する．現在は，フリースケール 半導体セクター トランスポーテーション＆スタンダードプロダクツグループにおいて，おもに車載向けのネットワークの技術担当マネジャーをしている．